

Utnyttja belysningen effektivt

KARL-JOHAN BERGSTRAND, HÅKAN ASP, HARTMUT K. SCHÜSSLER

I norra Europa är ljuset helt otillräckligt för odling under vinterhalvåret och ibland även på sommaren. Artificiell belysning har därför blivit allt vanligare inte bara vid odling av småplantor och krukväxter utan även för året-runt-produktion av olika grönsaker i växthus. Utvecklingen har gått från glödlampor, neonrör och kvicksilverlampor via metallhalogen till högtrycksnatriumlampor (HPS) som är dominerande än idag alltsedan 1970-talet. Stigande energipriser och ökande krav på miljöhänsyn har gjort att det idag finns ett stort behov av att effektivisera användandet av belysning i växthus. Tekniken utvecklas stadigt, HPS-lamporna har undan för undan fått allt bättre effektivitet med införandet av 600 och 1000 W lampor samt elektroniska drivdon. Dessutom har helt nya lamp typer som t.ex. LED-lampor och plasmalampor kommit på marknaden. Det finns dock mycket man kan göra för att effektivisera sin användning av belysning utan att nödvändigtvis göra en dyr investering i att byta hela utrustningen.

Mätning av ljus

Att mäta ljus innebär att ge sig in i en djungel av olika enheter och sensor typer. Ofta har man använt lux, som är ett välkänt begrepp och där det finns mätare att köpa till rimliga priser. Lux är dock mindre lämpligt att mäta ljus från lampor avsedda för växtbelysning, inte minst om det gäller t.ex. LED-lampor med stort innehåll av blått ljus och rött



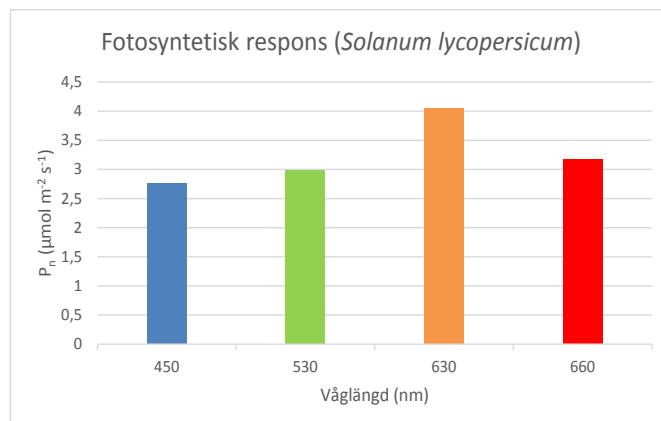
Bild 1: Högtrycksnatriumlampor är fortfarande det bästa valet i många fall. Här 600 W-armaturer i året-runt-produktion av tomater i Norge. Foto: K-J Bergstrand

ljus i längre våglängder (över 650 nm). Orsaken till detta är att lux är en enhet som är utvecklad ur studier om hur vi människor uppfattar ljuset. Alltså tar lux-skalan stor hänsyn till grönt ljus, som våra ögon är känsliga för, och mindre hänsyn till blått och rött ljus som å andra sidan är viktiga för växterna. Att jämföra olika ljuskällor med olika spektral sammansättning hos ljuset med en luxmätare blir alltså helt fel. Enheter som lumen (ljusflöde) och klux (ljussumma) är baserade på lux och bör därför inte heller användas i växtsammanhang. Istället bör man använda sig av en mätare som mäter i mikromol per sekund och kvadratmeter, $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ (tidigare kallat mikroeinstein). Denna enhet

anges alltid som PAR, photosynthetically active radiation d.v.s. det är spektralområdet 400–700 nm man mäter och lämnar övriga våglängder därhän. Typiska värden i denna enhet: solig sommardag utomhus cirka $1500 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$, växthus med belysning installerad effekt $100 \text{ W}/\text{m}^2$ c:a $100\text{--}150 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$. Ljusmängden kan summeras ihop till en daglig ljussumma. Som en tumregel brukar man säga att växter behöver en ljussumma 12–25 mol per dag för att utvecklas väl. Ljusflödet från en lampa mäts i $\mu\text{mol}/\text{s}$ och lampans effektivitet mäts i $\mu\text{mol}/\text{watt}$ (se tabell 1). Om en lampa avger $200 \mu\text{mol}/\text{s}$ och detta projiceras på en yta om 1 m^2 blir ljusintensiteten på den ytan $200 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$. Lju-

Tabell 1: Effektiviteten hos olika typer av ljuskällor uttryckt i $\mu\text{mol}/\text{W}$ (tillverkarnas uppgifter)

Typ av ljuskälla	Modell	Effektivitet $\mu\text{mol}/\text{W}$
HPS	Philips 400 W	1,5
HPS	Philips 600 W	1,8
HPS	Gavita 1000 W	2,0
LED	Philips toplight	2,3
LED	Valoya B100	1,65
LED	Heliospectra LX60	1,6
LED	Fionia FL300	2,4



Figur 1: Fotosyntetisk respons hos tomat vid olika våglängder. Värdet på Y-axeln är upptaget av CO_2 i μmol per kvadratmeter bladyta och sekund vid en ljusstyrka på $100 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$. (Bergstrand et al., opubl.)

sintensiteten avtar kvadratisk med avståndet mellan ljuskällan och den belysta ytan. Om vi fördubblar avståndet i exemplet ovan blir alltså ljusintensiteten $50 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$. Å andra sidan blir den belysta ytan fyra gånger så stor. Vi förlorar alltså inget ljus genom att öka avståndet till ljuskällan, det enda som händer är att ljuset blir mer "utspritt".

Underhåll lamporna!

Mycket kan bli vunnet genom att underhålla lamporna om man har högtrycksnatriumlampor. Regelbundet utbyte av ljuskällan är viktigt, eftersom ljusutbytet redan efter 8–10 000 driftstimmar gått ner betydligt. Ett byte av ljuskälla kostar endast c:a 130 kr/armatur men kan ge upp till 15% mer ljus. I samband med byte av ljuskällan bör man även rengöra reflektorn, eftersom damm och smuts bränns fast och försämrar dess optiska egenskaper. Använd en luddfri trasa med en mild lösning av t.ex. citronsyra för att torka ur reflektorn.

Elförbrukningen ökar om kondensatorn i lampan är dålig. Den är billig och enkel att byta ut. Ut-

bytesvarianter finns i utföranden som kan monteras utanpå armaturen för förbättrad kylning och därmed livslängd. Byte av ljuskälla och kondensator plus rengöring av reflektorn kan öka ljusutbytet med upp till 50%.

Ny teknik-lamptyper

Nya lamptyper som t.ex. LED-belysning har introducerats på marknaden de senaste åren, ofta med löften om stora besparingar. Den totala systemeffektiviteten beror dels på lampornas effektivitet i $\mu\text{mol}/\text{W}$, dels på hur väl plantorna utnyttjar de olika våglängderna. LED-lampor kan vara bra, men även nya HPS-lampor är väsentligt mer effektiva än gamla typer (tabell 1). Att byta ut gamla 400 W HPS-lampor till nya 600 eller 1000 W armaturer är idag det mest kostnadseffektiva sättet att få en mer energieffektiv belysningsanläggning. Dessutom är HPS-tekniken beprövad och erkänt robust och långlivad. Om man byter till nya högeffektiva lampor kan man sänka den installerade effekten med bibehållen ljusintensitet på odlingsytan. Ett vanligare tillväga-

gångssätt är dock att bibehålla den installerade effekten och låta den högre effektiviteten resultera i högre ljusintensitet för bättre tillväxt.

LED-lampor avsedda för odlingsändamål är ofta utformade så att de huvudsakligen avger blått (~450 nm) och rött (~660 nm) ljus. Detta sägs vara optimerat enligt växtens fotosyntes men det är något av en missuppfattning. Klorofyllet har visserligen toppar i sin absorption vid dessa våglängder, men ett blad innehåller även andra pigment. Ett blad eller ett helt bladverk har också bättre förutsättningar för att absorbera ljuset än vad enbart klorofyll i ett provrör har. I verkligheten är det ljus i våglängder runt 630 nm (orange) som ger bäst fotosyntes, hos tomat upp till 20% bättre fotosyntes än 660 nm ljus (figur 1). Högtrycksnatriumlampor avger mycket ljus runt denna våglängd vilket är en förklaring till att man får god tillväxt med denna lamptyp. En orsak till att tillverkare av LED-armaturer ofta inte har med 630 nm i sina lampor kan vara att dessa dioder har lägre ljusutbyte än vad 660 nm dioder har. I dagsläget är det bästa tro-



Bild 2: Med LED-baserade ljuskällor är det möjligt att sätta samman i princip vilket ljusspektrum man önskar. Att använda enbart rött och blått ljus är däremot ofta inte att rekommendera. Foto: K-J Bergstrand



Bild 3: LED-armaturer kan monteras inne i beståndet. Ljus underifrån ger lika god tillväxt som ljus ovanifrån, och man slipper skugg effekter från de ofta ganska omfattande LED-armaturerna. Foto: K-J Bergstrand

ligen att ha både 630 och 660 nm. Att man ofta satsat enbart på blått och rött ljus kan vara en orsak till att användningen av LED-ljus med ”optimerad” spektralfördelning ofta varit till besvikelse. En annan orsak är att växterna med tiden anpassar sig efter det ljus som finns tillgängligt. Dessutom ger avsaknaden av IR-strålning från LED-lamporna lägre bladtemperatur. Vid odling i växthus måste man vara uppmärksam på detta och kompensera genom höjd lufttemperatur, i annat fall kommer lägre tillväxt och längre kulturtid att bli resultat av den lägre bladtemperaturen. En fördel med LED-ljuskällor är att de kan utformas i stort sett enligt önskemål, och placeras nära plantan, t.ex. inne i beståndet, tack vare den låga värmestrålningen. På så sätt eliminerar man skuggverkan från armaturerna och utnyttjar också värmen som avges från armaturerna via konvektion.

Sammanfattningsvis bör en LED-ljuskälla avsedd för växtodling innehålla en god del rött ljus i våglängder runt 630–660 nm. Man bör

även ha med en del blått (c:a 10%) och en del grönt (c:a 10%). Ett alternativ är att använda vita LED. Man bör då, för maximal tillväxt, satsa på varmvitt ljus, som innehåller mycket rött ljus. Enbart om man har höga krav på att begränsa sträckningstillväxten bör man öka andelen blått ljus till c:a 20%, alternativt använda kallvitt ljus.

Hur styr vi ljuset?

I gamla tider styrdes belysningen ofta bara av ett tidur och man nöjde sig med att kulturen fick rätt antal timmar ljus. Idag styrs ofta belysningen via klimatdatorn och man kan då utnyttja mer avancerade funktioner för att optimera ljusstillförseln, t.ex. utifrån uppnådd och prognosticerad ljussumma. Man kan t.ex. göra inställningar så att man begär att få t.ex. 12 mol ljussumma per dag. Lamporna tänds några timmar på morgonen men släcks då det naturliga ljuset kommer upp i en viss intensitet. Därefter förblir lamporna släckta hela dagen. På kvällen beräknar klimatdatorn

utifrån hur mycket naturligt ljus som kom under dagen ut hur länge ytterligare lamporna behöver vara tända för att uppnå den önskade ljussumman. Därmed undgår man också det ökade slitaget på armaturerna som blir följden om man låter dem slå till och från vid en viss bestämd ljusinstrålning. Det finns också idéer om att ta med elpriset i beräkningen. Man vet att plantorna kan ”lagra” energi i några dagar, så att man kan ge extra mycket ljus när strömmen är billig (t.ex. på grund av god tillgång på vind-el) för att ge mindre ljus, då ofta förknippat med lägre temperaturinställning, när elen är dyr.

Ibland används belysningen bara för att ge långdagsförhållanden för att styra blomningen. Att använda full effekt med högtrycksnatriumlampor för detta är inte helt optimalt. Med moderna styrsystem och armaturer kan man ”dimma ner” ljusintensiteten alternativt släcka t.ex. varannan armatur för att på så vis spara ström. Ännu bättre energimässigt är att ha ett separat system

för långdagsbehandling, eftersom det räcker med väldigt svagt ljus, c:a 5-10 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ för att kontrollera blomningen. Man kan då med fördel använda LED-lampor för detta ändamål. Röd-orange ljus (630 nm våglängd) har visat sig både vara effektivt för att kontrollera blomningen men även bidra till minskad sträckningstillväxt då det används som dagförlängning.

När ge ljus?

Ofta brukar man anse att ljuset gör bäst nytta om det ges under morgonen-förmiddagen. Detta är dock inte helt självklart, att ge ljus på kvällen är i princip lika effektivt. Mitt på dagen i kombination med starkt solsken riskerar man dock att komma upp i ljusstyrkor där växtens fotosyntessystem börjar bli mättat och effektiviteten går ner. Bäst nytta gör ljuset upp till en ljusintensitet om 200-300 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$. Det är givetvis också viktigt att plantan har god tillgång på vatten och näring för att kunna tillgodogöra sig ljuset. I ett vattenstressat blad går fotosyntesen snabbt ner mot 0 på grund av att klyvöppningarna stänger.

CO₂

För att få god effekt av tillskottsljus bör detta alltid kombineras med tillförsel av CO₂ upp till åtminstone 800 ppm. Ökning av CO₂-halten från den naturliga bakgrundsnivån (cirka 400 ppm) till 800 ppm ökar tillväxten med c:a 30%. I princip kan man alltså sänka den installerade belysningseffekten med 30%, och CO₂-tillförsel är alltså det enklaste sättet att göra en rejäl energibesparing på belysningen. Koldioxidtillförsel gör störst nytta vid de, relativt sett, låga ljusintensiteter det är fråga om då man odlar i artificiellt ljus. I vissa prydnadsväxter som t.ex. pelargoner bör man dock vara försiktig eftersom CO₂-tillförsel kan leda till oönskat stor vegetativ tillväxt. I ett oluflat växthus med ljusinstrålning eller belysning kan CO₂-halten snabbt sjunka ner till under 300 ppm vilket innebär en reduktion av tillväxten med 40% eller mer. Man bör alltså iallafall, oavsett växtslag, se till att upprätthålla minimum 400 ppm genom tillförsel av CO₂ om man har belysning i ett oluflat växthus.

Litteratur

- Bergstrand, K.-J., Schüssler, H.K. 2012. Nya tekniker inom växt-husbelysning. LTJ-fakultetens faktablad 2012:26
- Kuehn, A. 2013. Væksthuskoncept 2017-Teknologiudvikling til bæredygtig væksthushusproduktion. AgroTech slutrapport.
- Markvart, J., Rosenqvist, E., Sørensen, H., Ottosen, C-O, Aaslyng, J.M. 2009. Canopy photosynthesis and Time-of day application of supplemental light. HortScience 44(5):1284-1290
- Morrow, R.C. 2008. LED Lighting in Horticulture. HortScience 43(7):1947-1950
- Mortensen, L.M. 1987. Review: CO₂ Enrichment in greenhouses. Crop responses. Scientia Horticulturae 33:1-25.

- Faktabladet är utarbetat inom LTV-fakultetens institution för Biosystem och teknologi, Enheten för hortikulturell produktionsfysiologi.
- Projektet är finansierat av Stiftelsen lantbruksforskning.
- Projektansvarig och ansvarig författare: Karl-Johan Bergstrand, Karl-Johan.Bergstrand@slu.se, Box 103, 230 53 Alnarp.
- Övriga medarbetare i projektet: Håkan Asp och Hartmut K. Schüssler.
- På webbadressen <http://epsilon.slu.se> kan detta faktablad hämtas elektroniskt.